Linie: 761
Bezeichnung: Oberglatt- Niederweningen Gleisende
Km: 19.096

12.201.06-02

Kanton: Zürich
Gemeinde: Steinmaur

Projekt: # Sanierung BDu Rohrbach km 19.096

ISP-Nr.: 1167499

Kontrolliert PRE
luc/10.09.2026

=> in Ordnung!

Phase: # Auflageprojekt

Unterschriften

Bauherrenvertretung SBB
Abteilung: I-AEP-PJM-ROT-T3
Name: Marco Neuenschwander
Datum/ Unterschrift:

Marco Neuenschwander
EBP Schweiz AG
Zürich, 24. Sep. 2026
QES Qualifizierte elektronische Signatur · Schweizer Recht
Signiert auf Skribble.com

Projektverfasser
Firma: Intura AG
Name: Daniela Mazenauer
Datum/ Unterschrift:

Daniela Mazenauer
24. Sep. 2026
QES Qualifizierte elektronische Signatur · Schweizer Recht
Signiert auf Skribble.com

SBB CFF FFS

Zusatz zu statische Berechnung
(LF Ermüdung: Dauerfestigkeit)

Index:	Erstellt	Vis.	Geprüft	Vis.	Freigabe	Vis.
---	02.09.26	dm	04.09.26	pw	23.09.26	NEM

Linie: 761 Km: 19.096

SBB, Infrastruktur
Vulkanplatz 11, 8048 Zürich

© Alle Rechte an diesem Dokument stehen der SBB zu.
Für die genaue Lage und die Vollständigkeit der unterirdischen Anlagen besteht keine Gewähr.

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines ... 3

2. Grundlagen ... 3

2.1 Dokumente 3
2.2 Tragsystem 3
2.3 Abmessungen 3
2.4 Baustoffe 3

3. Einwirkungen ... 3

4. Lastkombinationen ... 4

4.1 Grenzzustand Ermüdung 4
4.2 Schnittkräfte Ermüdung 4
4.2.1 Zusammenstellung Schnittkräfte Ermüdung (Betriebsfestigkeit λ = 1.40) ... 4
4.2.2 Zusammenstellung Schnittkräfte Ermüdung (Dauerfestigkeit) ... 5
4.3 Nachweise Ermüdung Dauerfestigkeit (Stahlspannung, Biegung) 6
4.3.1 Rahmeneck Decke M_B und M_C ... 6
4.3.2 Deckenmitte M_1 ... 7
4.3.3 Wandmitte M_2 und M_4 ... 8
4.3.4 Bodenplatte Rahmeneck M_A und M_D ... 9
4.3.5 Bodenplatte Mitte M_3 ... 10
4.4 Nachweise Ermüdung Dauerfestigkeit (Stahlspannung, Schubbügel) 11
4.5 Nachweise Ermüdung (Dauerfestigkeit, Beton) 12

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lastkombination Ermüdung Betriebsfestigkeit 4
Tabelle 2: Moment in kNm für den Lastfall Ermüdung Betriebsfestigkeit 4
Tabelle 3: Querkraft in kN für den Lastfall Ermüdung Betriebsfestigkeit 4
Tabelle 4: Maximale und minimale Momente für den Lastfall Ermüdung Dauerfestigkeit 5
Tabelle 5: Maximale und minimale Querkraft für den Lastfall Dauerfestigkeit 5

1. Allgemeines

Gemäss SV- Bericht und SIOP-A wird verlangt, dass der Ermüdungsnachweis der Dauerfestigkeit nach SIA 262 mit der Differenzspannung erfolgen muss

2. Grundlagen

2.1 Dokumente

- Statische Berechnung vom 17.08.26

Normen (Aufzählung nicht abschliessend)

- Siehe statische Berechnung

2.2 Tragsystem

Siehe statische Berechnung

2.3 Abmessungen

Siehe statische Berechnung

2.4 Baustoffe

Siehe statische Berechnung

3. Einwirkungen

Siehe statische Berechnung

Ermüdungslast: LM 1 (SIA 261, 11.4)

Lasten aus LM 1 mit den Beiwerten: Φ=1.67 α= 1.00, λ=1.40

$$Qk1 = \frac{4 \cdot Qk1 \cdot \varphi \cdot \alpha \cdot \lambda}{B \cdot L} = \frac{4 \cdot 250 \cdot 1.67 \cdot 1.00 \cdot 1.40}{3.06 \cdot 6.4} = 119.4\ kN/m^2$$

Schadensäquivalenzfaktor λ für Ermüdung infolge Betriebslasten
(SIA 261 Anhang G)

$1.1\lambda_1$ (L_λ =2.70) = 1.52, λ_2 = 1.0, λ_3 = 1.0, λ_4 = 1.0

$$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 = 1.52 \leq \lambda_{max} = 1.40 \quad \rightarrow \quad \boldsymbol{\lambda = 1.40}$$

Ermüdung über Dauerfestigkeit (SIA 262, 4.3.8.2.2)

gerade Stäbe ∅ ≤ 20 mm: $\Delta\sigma_{sd,fat}$ = 145 N/mm² / $\Delta\sigma_{sD}$ = 0.8 x 145 N/mm² = 116 N/mm²
vertikale Bügel ∅ < 16 mm: $\Delta\sigma_{sd,fat}$ = 135 N/mm² / $\Delta\sigma_{sD}$ = 0.8 x 135 N/mm² = 108 N/mm²
gerade Stäbe ∅ > 20 mm: $\Delta\sigma_{sd,fat}$ = 120 N/mm² / $\Delta\sigma_{sD}$ = 0.8 x 120 N/mm² = 96 N/mm²

Biegerollendurchmesser d_3 (Schlaufenstoss bei Rahmeneck):
$k_{\Phi 18}$ = 0.35 + 0.026 x d_i / ∅s = 0.35 + 0.026 x 126/18 = 0.532
→ 0.532 x 145 N/mm² = 77.14 N/mm²
Abbiegungen ∅ ≤ 20 mm: $\Delta\sigma_{sd,fat}$ = 77.14 N/mm² / $\Delta\sigma_{sD}$ = 0.8 x 77.1 N/mm² = 61.7 N/mm²

$k_{\Phi 20} = 0.35 + 0.026 \times d_i / \varnothing s = 0.35 + 0.026 \times 140/20 = 0.532$
$\rightarrow 0.532 \times 145\ N/mm^2 = 77.14\ N/mm^2$
Abbiegungen $\varnothing \leq 20$ mm: $\Delta\sigma_{sd,fat} = 77.14\ N/mm^2$ / $\Delta\sigma_{sD} = 0.8 \times 77.1\ N/mm^2 = 61.7\ N/mm^2$

Biegerollendurchmesser d_1 (Abbiegung bei Rahmeneck):
$k_{\Phi 20} = 0.35 + 0.026 \times d_i / \varnothing s = 0.35 + 0.026 \times 300/20 = 0.74$
$\rightarrow 0.74 \times 145\ N/mm^2 = 107.3\ N/mm^2$
Abbiegungen $\varnothing \leq 20$ mm: $\Delta\sigma_{sd,fat} = 107.3\ N/mm^2$ / $\Delta\sigma_{sD} = 0.8 \times 107.3\ N/mm^2 = 86\ N/mm^2$

4. Lastkombinationen

4.1 Grenzzustand Ermüdung

Ermüdungssicherheit

Eigengewicht	ständig	1.0
Auflasten	ständig	1.0
Erdmüdungslast LM 1, λ=1.40	Veränderlich / kumulativ	1.0
Erddruck infolge Bahnlast	Veränderlich / kumulativ	1.0
Erddruck	ständig	1.0

Tabelle 1: Lastkombination Ermüdung Betriebsfestigkeit

4.2 Schnittkräfte Ermüdung

4.2.1 Zusammenstellung Schnittkräfte Ermüdung (Betriebsfestigkeit $\lambda = 1.40$)
(siehe Hauptstatik Seite 24)
Momente:

	Eigengewicht/ Auflast	Erddruck	Bahnlast Pos.1	Bahnlast Pos.2	Bahnlast Pos.3
Faktor	1	1	1	1	1
M_A	-14.1	-1.6	10.5	-33.7	-44.9
M_B	-9.1	-1.5	-8.8	-51.9	-45.4
M_C	-9.1	-1.5	6.5	-34.4	-45.4
M_D	-14.1	-1.6	-12.8	-53.9	-45
M1	14.5	-1.5	-1.2	60.7	59.3
M2	-11.6	4.6	0	-42.7	-36.4
M3	19.2	-1.6	-1.2	61.4	60.3
M4	-11.6	4.6	8.7	-44.2	-36.4

Tabelle 2: Moment in kNm für den Lastfall Ermüdung Betriebsfestigkeit

Querkraft:

	Eigengewicht/ Auflast	Erddruck	Bahnlast Pos.1	Bahnlast Pos.2	Bahnlast Pos.3
Faktor	1	1	1	1	1
Platten V_B	-35.5	2.6	-5.8	-163.9	-158.2
Platten V_C	35.5	2.6	-5.8	152.5	158.2
Platten V_A	52.1	3.5	5.8	163.9	158.2
Platten V_D	-52.1	3.5	5.8	-152.5	-158.2
Wände V_A	-3.0	-17.4	10.8	11.0	-21.2
Wände V_B	-3.0	11.9	10.8	11.0	21.2
Wände V_D	3.0	-17.4	32.2	31.9	21.2
Wände V_C	3.0	11.9	-10.8	-11.0	-21.2

Tabelle 3: Querkraft in kN für den Lastfall Ermüdung Betriebsfestigkeit

4.2.2 Zusammenstellung Schnittkräfte Ermüdung (Dauerfestigkeit)

Für den Nachweis der Dauerfestigkeit werden die Schnittkräfte der massgebenden Bahnlasten aus der Tabelle 2 und 3 mit dem Betriebslastfaktor $\lambda = 1.40$ reduziert.

Beispiel für Zusammenstellung Schnittkräfte in Tabellen 4 und 5 (Zeile 1):
Ständige Einw: Eigengewicht md = -14.1 kNm/m (Tab.2)
Erddruck md = -1.6 kNm/m (Tab.2)
Total ständige Einw md = -14.1 + -1.6 = -15.7 kNm/m (Tabelle 4, $M_{ständig}$)

Bahnlasten:
Einwirkung Bahn (max.) md = -44.9 / 1.4 = -32.1 kNm/m (Laststellung Pos.3)

Die maximale Einwirkung ergibt sich aus der Summe von ständigen Lasten + NL:
-15.7 + -32.1 = -47.8 kNm/m (Tabelle 4, $M_{st + NL}$)

	$M_{ständig}$	M_{st+NL}	**ΔM_d**
M_A	-15.7	-47.8	**-32.1**
M_B	-10.6	-47.7	**-37.1**
M_C	-10.6	-42.9	**-32.3**
M_D	-15.8	-54.2	**-38.4**
M_1	13	56.4	**43.4**
M_2	-7	-37.5	**-30.5**
M_3	17.6	61.5	**43.9**
M_4	-7	-38.6	**-31.6**

Tabelle 4: Maximale und minimale Momente für den Lastfall Ermüdung Dauerfestigkeit

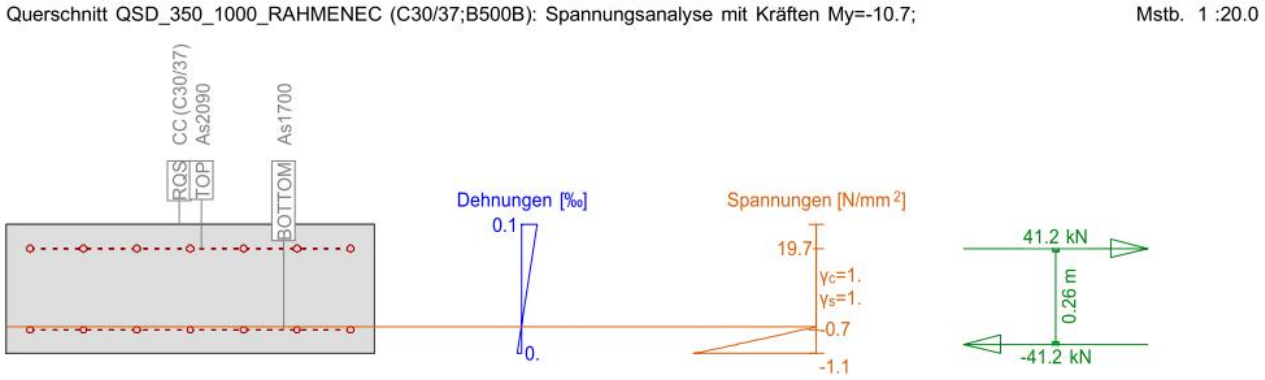
	$V_{ständig}$	V_{st+NL}	**ΔV_d**	**R_d**	*Die Vertikallast aus dem Boden wird über die Bankette auf die Bodenplatte verteilt: qd= 173kN/m / 1.3 m = 133 kN/m²*
Platten V_B	-32.4	-149.5	**-117.1**		
Platten V_C	38.1	151.1	**113**		
Platten V_A	55.6	172.7	**117.1**	***(173)***	
Platten V_D	-48.6	-161.6	**-113**	***(162)***	
Wände V_A	-20.4	-35.6	**-15.2**		
Wände V_B	8.9	24.1	**15.2**		
Wände V_D	-14.4	-8.6	**-23**		
Wände V_C	14.9	-0.3	**15.2**		

Tabelle 5: Maximale und minimale Querkraft für den Lastfall Dauerfestigkeit

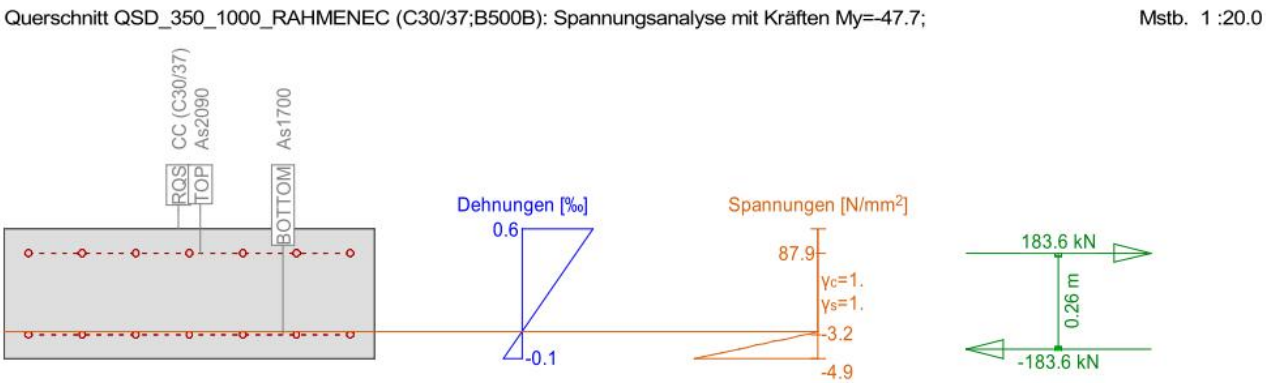
4.3 Nachweise Ermüdung Dauerfestigkeit (Stahlspannung, Biegung)

4.3.1 Rahmeneck Decke M_B und M_C

Spannungsanalyse Minimum



Spannungsanalyse Maximum



$\Delta\sigma_{sd}\,(Q_{fat}) = 87.9 - 19.7 = 68.2\ N/mm^2$

Biegerollendurchmesser d_1 (Abbiegung bei Rahmeneck):
$k_{\Phi 20} = 0.35 + 0.026 \times d_i / \varnothing s = 0.35 + 0.026 \times 300/20 = 0.74$
$\rightarrow 0.74 \times 145\ N/mm^2 = 107.3\ N/mm^2$
Abbiegungen $\varnothing \leq 20$ mm: $\Delta\sigma_{sd,fat} = 107.3\ N/mm^2$ / $\Delta\sigma_{sD} = 0.8 \times 107.3\ N/mm^2 = 86\ N/mm^2$

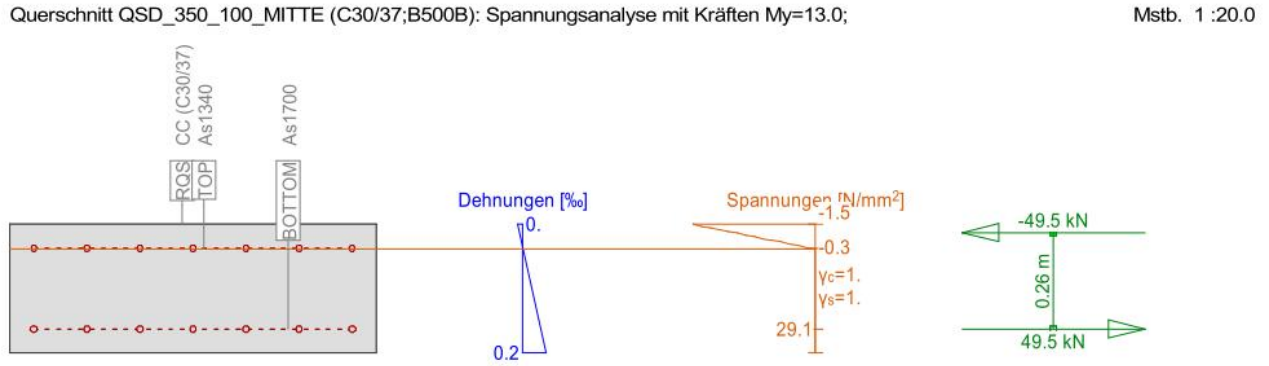
$\Delta\sigma_{sd}\,(Q_{fat}) = 87.9 - 19.7 = 68.2\ N/mm^2$
$\Delta\sigma_{sD} = 0.8 \times 107.3\ N/mm^2 = 86\ N/mm^2$

$68.2\ N/mm^2 \leq 86\ N/mm^2$ → **Nachweis i.O**

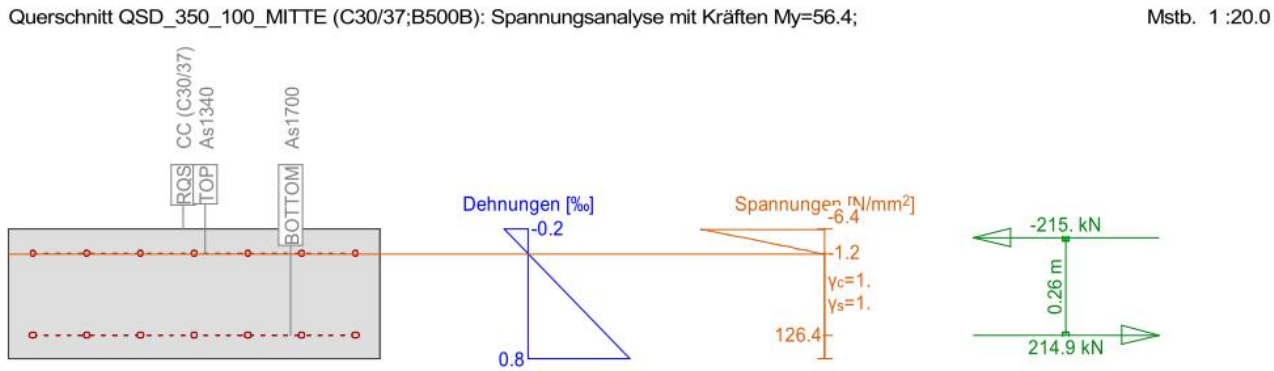
Erfüllungsgrad n = 86/68.2 = 1.26 > 1.00

4.3.2 Deckenmitte M_1

Spannungsanalyse Minimum



Spannungsanalyse Maximum



$\Delta\sigma_{sd}\,(Q_{fat}) = 126.4 - 29.1 = 97.3\ N/mm^2$

Gerades Stäbe ∅ ≤ 20 mm: $\Delta\sigma_{sd,fat} = 145\ N/mm^2$ / $\Delta\sigma_{sD} = 0.8 \times 145\ N/mm^2 = 116\ N/mm^2$

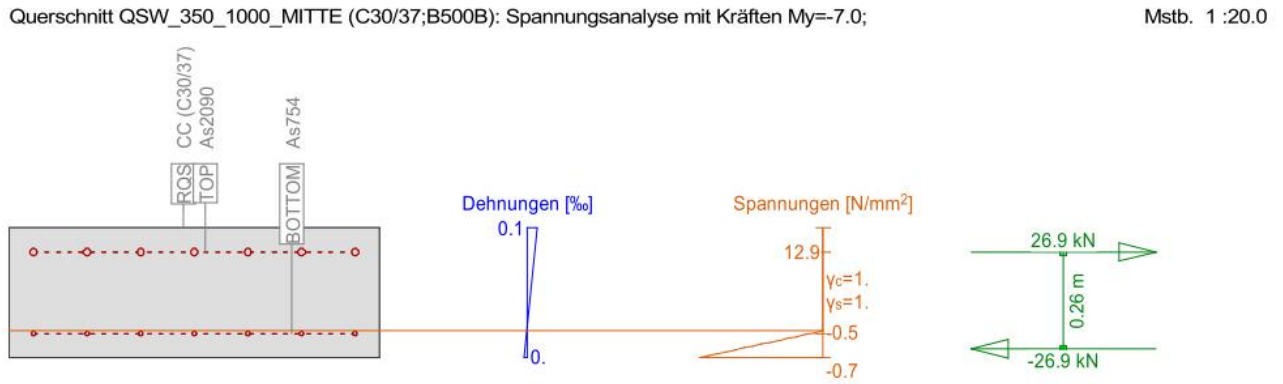
$\Delta\sigma_{sd}\,(Q_{fat}) = 126.4 - 29.1 = 97.3\ N/mm^2$
$\Delta\sigma_{sD} = 0.8 \times 145\ N/mm^2 = 116\ N/mm^2$

$97.3\ N/mm^2 \leq 116\ N/mm^2$ → **Nachweis i.O**

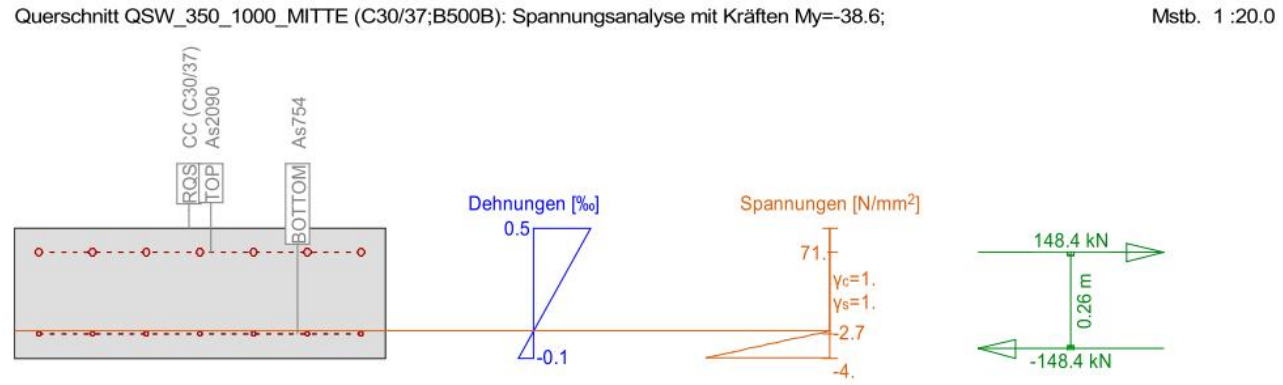
Erfüllungsgrad n = 116/97.3 = 1.19 > 1.00

4.3.3 Wandmitte M_2 und M_4

Spannungsanalyse Minimum



Spannungsanalyse Maximum



$\Delta\sigma_{sd}\,(Q_{fat}) = 71 - 12.9 = 58.1\ N/mm^2$

Gerades Stäbe ø ≤ 20 mm: $\Delta\sigma_{sd,fat} = 145\ N/mm^2$ / $\Delta\sigma_{sD} = 0.8 \times 145\ N/mm^2 = 116\ N/mm^2$

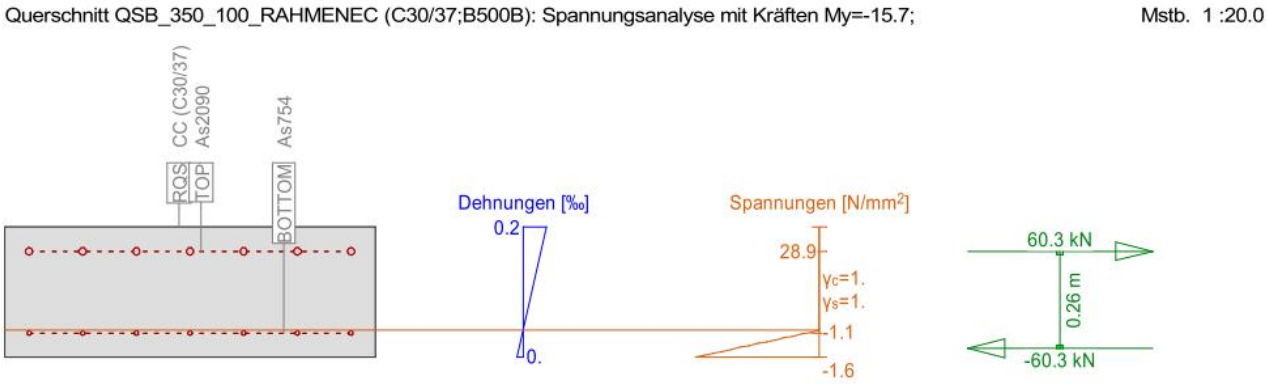
$\Delta\sigma_{sd}\,(Q_{fat}) = 71 - 12.9 = 58.1\ N/mm^2$
$\Delta\sigma_{sD} = 0.8 \times 145\ N/mm^2 = 116\ N/mm^2$

$58.1\ N/mm^2 \leq 116\ N/mm^2$ → **Nachweis i.O**

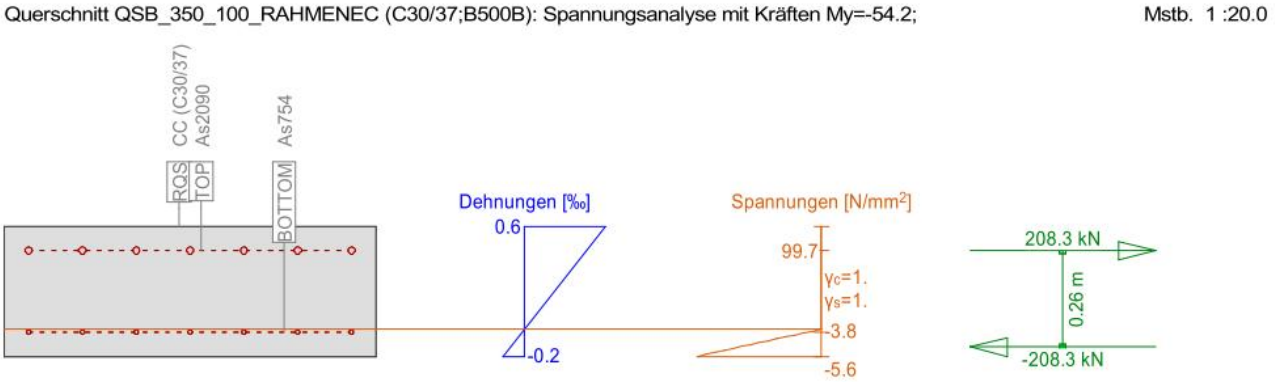
Erfüllungsgrad n = 116/58.1 = 1.99 > 1.00

4.3.4 Bodenplatte Rahmeneck M_A und M_D

Spannungsanalyse Minimum



Spannungsanalyse Maximum



$\Delta\sigma_{sd}\,(Q_{fat}) = 99.7 - 28.9 = 70.8$ N/mm²

Biegerollendurchmesser d_1 (Abbiegung bei Rahmeneck):
$k_{\Phi 20} = 0.35 + 0.026 \times d_i / \varnothing s = 0.35 + 0.026 \times 300/20 = 0.74$
$\rightarrow 0.74 \times 145$ N/mm² $= 107.3$ N/mm²
Abbiegungen ∅ ≤ 20 mm: $\Delta\sigma_{sd,fat} = 107.3$ N/mm² / $\Delta\sigma_{sD} = 0.8 \times 107.3$ N/mm² $= 86$ N/mm²

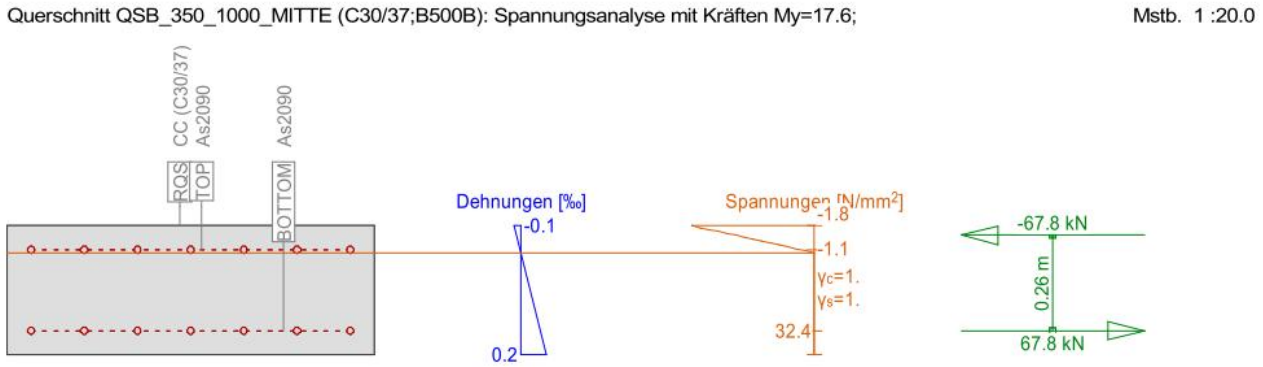
$\Delta\sigma_{sd}\,(Q_{fat}) = 99.7 - 28.9 = 70.8$ N/mm²
$\Delta\sigma_{sD} = 0.8 \times 107.3$ N/mm² $= 86$ N/mm²

70.8 N/mm² ≤ 86 N/mm² → **Nachweis i.O**

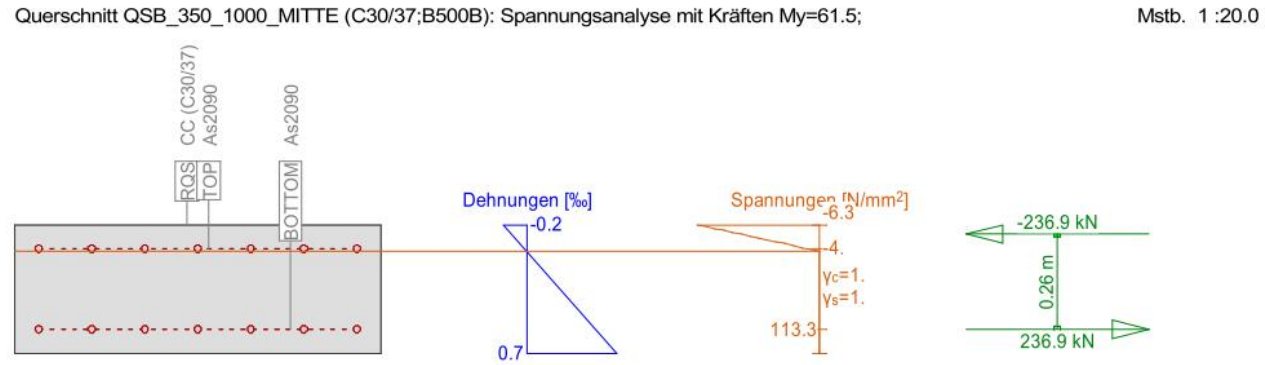
Erfüllungsgrad n = 86/70.8 = 1.21 > 1.00

4.3.5 Bodenplatte Mitte M_3

Spannungsanalyse Minimum



Spannungsanalyse Maximum



$\Delta\sigma_{sd}\,(Q_{fat})$ = 113.3 – 32.4 = 80.9 N/mm²

Gerades Stäbe ø ≤ 20 mm: $\Delta\sigma_{sd,fat}$ = 145 N/mm² / $\Delta\sigma_{sD}$ = 0.8 x 145 N/mm² = 116 N/mm²

$\Delta\sigma_{sd}\,(Q_{fat})$ = 113.3 – 32.4 = 80.9 N/mm²
$\Delta\sigma_{sD}$ = 0.8 x 145 N/mm² = 116 N/mm²

80.9 N/mm² ≤ 116 N/mm² → **Nachweis i.O**

Erfüllungsgrad n = 116/80.9= 1.43 > 1.00

4.4 Nachweise Ermüdung Dauerfestigkeit (Stahlspannung, Schubbügel)

Minimum v_{zd} = 32.4 kN/m
Maximum v_{zd} = 149.5 kN/m
Schubbewehrung vorhanden: A_{sw} = 555 mm^2 (6 Φ 12) A_{sw} = 679 mm^2 (vier Reihen, t=150mm)

Δv_{zd} = 149.5 – 32.4 = 117.1 kN/m

$\Delta\sigma_{sd}(Q_{fat}) = \Delta v_{zd} / A_s$ = 177100 / 4x 679 mm^2 = 65.2 N/mm2

Vertikale Bügel Ø ≤ 16 mm mit Abbiegungen gemäss 5.24 (SIA 262) → $\Delta\sigma_{sd,fat}$ =135 N/mm^2
$\Delta\sigma_{sD}$ = 0.8 x 135 N/mm^2 = 108 N/mm^2

$\Delta\sigma_{sd}(Q_{fat}) = \Delta v_{zd} / A_s$ = 177100 / 4x 679 mm^2 = 65.2 N/mm2
$\Delta\sigma_{sD}$ = 0.8 x 135 N/mm^2 = 108 N/mm^2

65.2 N/mm^2 ≤ 108 N/mm^2 → **Nachweis i.O**

Erfüllungsgrad n = 108/65.2= 1.65 > 1.00

4.5 Nachweise Ermüdung (Dauerfestigkeit, Beton)

$\frac{vd,\min}{vd,\max} \geq 0$: $v_{d,max} \leq 0.5\ v_{Rd} + 0.45\ v_{d,min} \leq 0.9\ v_{Rd}$

$\frac{vd,\min}{vd,\max} < 0$: $v_{d,max} \leq 0.5\ v_{Rd} - v_{d,min}$

Boden

$v_{d,min}$ = 55.6 kN/m
$v_{d,max}$ = 172.7 kN/m

$\frac{vd,\min}{vd,\max}$ = 55.6 / 172.7 = 0.32 > 0

172.7 ≤ 0.5 x 727 + 0.45 x 55.6 = 388kN < 0.9 x 727 = 654 kN → **i.O**

Keine Schubbewehrung nötig

Decke

$v_{d,min}$ = 32.4 kN/m
$v_{d,max}$ = 149.5 kN/m
$\frac{vd,\min}{vd,\max}$ = 32.4 / 149.5 = 0.22 > 0

149.5 ≤ 0.5 x 274 + 0.45 x 32.4 = 152 kN < 0.9 x 274 = 177 kN → **i.O**

Keine Schubbewehrung nötig

Schubbewehrung vorhanden: A_{sw} = 555 mm² (6 Φ 12) A_{sw} = 679 mm² **i.O**

Wände

Wand VA:

$v_{d,min}$ = 8.9 kN/m
$v_{d,max}$ = 24.1 kN/m
$\frac{vd,\min}{vd,\max}$ = 8.9 / 24.1= 0.37 > 0

8.9 ≤ 0.5 x 273 + 0.45 x 24.1 = 147 kN < 0.9 x 273 = 246 kN → **i.O**

Keine Schubbewehrung nötig

Wand VD:

$v_{d,min}$ = 8.6 kN/m
$v_{d,max}$ = 14.4 kN/m
$\frac{vd,\min}{vd,\max}$ = 8.6 / 14.4= 0.60 > 0

8.6 ≤ 0.5 x 273 + 0.45 x 14.4 = 143 kN < 0.9 x 273 = 246 kN → **i.O**

Keine Schubbewehrung nötig

Wand VC:

$v_{d,min}$ = -0.3 kN/m
$v_{d,max}$ = 14.9 kN/m
$\frac{vd,\min}{vd,\max}$ = -0.3 / 14.9= -0.02 > 0

$\frac{vd,\min}{vd,\max} < 0$: $v_{d,max} \leq 0.5\ v_{Rd} - v_{d,min}$

14.9 ≤ 0.5 x 273 – (-0.3) = 136.8 kN → **i.O**

Keine Schubbewehrung nötig